

## ERRATA

**VOLUME 2, NÚMERO 1:** Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* huber ex ducke) modificadas termomecanicamente

No artigo “*Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (Schizolobium amazonicum huber ex ducke) modificadas termomecanicamente*” publicado no volume 2, número 1 da Revista Ciência da Madeira (*Brazilian Journal of Wood Science*), conceberam-se devido a problemas técnicos as modificações listadas abaixo:

**Página 29**, resumo

**Onde se lê:** As propriedades mecânicas não foram significativamente afetadas pelo tratamento.

**Deve-se ler:** Das propriedades mecânicas apenas o módulo de elasticidade foi afetado significativamente pelo tratamento.

**Página 30**, abstract

**Onde se lê:** As propriedades mecânicas não foram significativamente afetadas pelo tratamento.

**Deve-se ler:** Das propriedades mecânicas apenas o módulo de elasticidade foi afetado significativamente pelo tratamento.

**Página 36**, linha 1.

**Onde se lê:** A aplicação da pressão resultou em uma redução em espessura (RE) nas lâminas que variou de 0,58% a 14,06%.

**Deve-se ler:** A aplicação da pressão resultou em uma redução em espessura (RE) média por tratamento entre 4,43% e 7,55%.

**Página 38**, item 3, parágrafos 1, 2 e 3.

*Onde se lê:* Em nenhuma das propriedades mecânicas testadas, a análise de variância identificou diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. De acordo com a Tabela 5, no ensaio de flexão estática, tanto o  $E_M$  quanto o  $f_m$  apresentam uma tendência de queda das amostras tratadas em relação à testemunha.

*Deve-se ler:* Com exceção do  $E_m$ , obtido no ensaio de flexão estática, as outras propriedades mecânicas testadas não apresentaram variação dentro dos tratamentos, como mostra a Tabela 5. O maior valor do  $E_m$  foi encontrado no tratamento de 5 minutos ( $747,43 \text{ N.mm}^{-2}$ ) e o menor valor foi obtido no tratamento de 15 minutos ( $620,59 \text{ N.mm}^{-2}$ ), o que representou uma redução de 6,7% em relação a testemunha. A densificação do material, causada pela compressão mecânica e facilitada pela temperatura, foi o que contribuiu para o aumento da rigidez do compensado nesse tratamento de 5 minutos. Essa densificação é representada pela RE que indica a redução dos espaços vazios, aumentando a proporção de massa em relação ao volume.

Por outro lado, a redução do  $E_m$  pode ser atribuída a degradação térmica dos polímeros e a perda de massa da madeira, que são comuns em tratamentos térmicos. Embora o  $E_m$  tenha sido reduzido, a resistência à flexão estática ( $f_M$ ) não foi afetada significativamente pelo tratamento. Hillis et al. (1984) e Yildiz et al. (2006) comentam que utilizando apenas tratamentos térmicos, sem influência da compressão, o módulo de ruptura é geralmente mais afetado que o módulo de elasticidade. No entanto, provavelmente em decorrência do uso da pressão juntamente com calor, o  $f_M$  não foi afetado significativamente. Dessa forma, o tratamento com o tempo de 5 minutos foi até vantajoso para a flexão estática do compensado, pois deixou o material mais resistente à deformação elástica sem diminuir a carga de ruptura.

Página 39, tabela 5

Onde se lê:

**Tabela 5.** Médias dos tratamentos para as propriedades mecânicas dos compensados.

**Table 5.** Average of plywood mechanical properties.

Tratamentos	Propriedades Mecânicas			
	$f_m$	$E_M$	$f_{gv,0}$	FM
	----- N.mm <sup>-2</sup> -----			%
Testemunha	353,4 <sub>A</sub>	26672 <sub>A</sub>	17,5 <sub>A</sub>	84 <sub>A</sub>
T1	258,9 <sub>A</sub>	18562 <sub>A</sub>	17,2 <sub>A</sub>	87 <sub>A</sub>
T2	263,2 <sub>A</sub>	22373 <sub>A</sub>	18,2 <sub>A</sub>	94 <sub>A</sub>
T3	299,5 <sub>A</sub>	23481 <sub>A</sub>	14,6 <sub>A</sub>	68 <sub>A</sub>
Valor-p <sup>1</sup>	0,46	0,10	0,37	0,30

$f_m$ = Módulo de ruptura;  $E_M$ = Módulo de elasticidade;  $f_{gv,0}$ = Resistência ao cisalhamento na linha de cola; FM= Falha na madeira. <sup>1</sup>Diferenças significativas a 95% de probabilidade se valor-p < 0,05. Letras iguais indicam não diferença significativa a 95% de probabilidade.

**Deve-se ler:**

**Tabela 5.** Médias dos tratamentos para as propriedades mecânicas dos compensados.

**Table 5.** Average of plywood mechanical properties.

Tratamentos	Propriedades mecânicas			
	$f_M$	$E_m$	$f_{gv,0}$	FM
	-----N.mm <sup>-2</sup> -----			-----%-----
Testemunha	63,99 <sub>A</sub>	665,18 <sub>AB</sub>	17,5 <sub>A</sub>	84
T1	64,05 <sub>A</sub>	747,43 <sub>A</sub>	17,2 <sub>A</sub>	87
T2	61,24 <sub>A</sub>	672,48 <sub>AB</sub>	18,2 <sub>A</sub>	94
T3	57,93 <sub>A</sub>	620,59 <sub>B</sub>	14,6 <sub>A</sub>	68
Valor-p <sup>1</sup>	0,57	0,03	0,37	0,30

$f_M$ = Módulo de ruptura;  $E_m$ = Módulo de elasticidade;  $f_{gv,0}$ = Resistência ao cisalhamento na linha de cola; FM= Falha na madeira. <sup>1</sup>Diferenças significativas a 95% de probabilidade se valor-p < 0,05. Letras iguais indicam não diferença significativa a 95% de probabilidade.

*Página 40*, item 4, conclusões

*Onde se lê:* As propriedades mecânicas não foram significativamente afetadas pelos tratamentos. Nesse caso, esperava-se que a compressão mecânica das lâminas contribuísse para melhora ou para a não redução dessas propriedades, o que não pôde ser observado.

*Deve-se ler:* Em relação às propriedades mecânicas, o tratamento termomecânico aumentou o módulo de elasticidade no tratamento com tempo de 5 minutos. O módulo de ruptura não foi significativamente afetado, assim como o cisalhamento na linha de cola.

**ESTUDO PRELIMINAR DAS PROPRIEDADES DE COMPENSADOS  
PRODUZIDOS COM LÂMINAS DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex  
Ducke) MODIFICADAS TERMOMECHANICAMENTE**

Larissa Medeiros Arruda<sup>1</sup>; Joaquim Carlos Gonzalez<sup>2</sup>; Cláudio Henrique Soares Del  
Menezzi<sup>2</sup>; Rafael Rodolfo de Melo<sup>3</sup>

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi estudar, preliminarmente, os efeitos da modificação termomecânica de lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) para produção de compensados de melhor qualidade em termos de higroscopicidade e propriedades mecânicas. Para isso, foram usadas 24 lâminas de 25 x 25 cm, tratadas à temperatura de 150°C, tempos de cinco, 10 e 15 minutos e pressão de 1 N.mm<sup>-2</sup>, constituindo três tratamentos e uma testemunha não tratada. Os compensados foram colados com o adesivo resorcinol-formaldeído, na gramatura de 360 g.m<sup>-2</sup> e prensados à temperatura ambiente a 1 N.mm<sup>-2</sup>, durante 10 horas. A avaliação das amostras foi realizada por meio da análise colorimétrica e das propriedades físico-mecânicas. A análise colorimétrica mostrou que houve escurecimento da madeira com o aumento do tempo do tratamento. O tratamento não se mostrou eficiente em reduzir o inchamento em espessura dos compensados, somente reduziu a absorção de água. Das propriedades mecânicas apenas o módulo de elasticidade foi afetado significativamente pelo tratamento.

**Palavras-chave:** tratamento termomecânico; higroscopicidade; propriedades mecânicas; compensado.

**PRELIMINARY STUDY OF PLYWOOD PRODUCED WITH PARICÁ (*Schizolobium  
amazonicum* Huber ex Ducke) VENEERS MODIFIED BY THERMO-MECHANICAL  
TREATMENT**

**Abstract:** The objective of this preliminary research was to study the effects of thermo-mechanical modification in veneers of Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) to

---

<sup>1</sup> Engenheira Florestal. Mestranda em Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal, Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF. CEP 70919-970. <calliandra.sp@gmail.com>

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Dr. Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF. CEP 70919-970. <goncalvez@unb.br; cmenezzi@unb.br>

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc. Professor Assistente, Campus Professora “Cinobelina Elvas”, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus-PI. Doutorando em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF. <rrmelo2@yahoo.com.br>

improve plywood hygroscopicity and mechanical properties. The amount of 24 veneers was used with the dimensions 25 x 25 cm, that were compressed under different times (5, 10 and 15 minutes) at 150°C and pressure at 1 N.mm<sup>-2</sup>, constituting three treatments and one untreated. Plywood were bonded with resorcinol-formaldehyde, glue consumption of 360 g.m<sup>-2</sup> at ambient temperature and pressure of 1 N.mm<sup>-2</sup> for 10 hours. The samples were evaluated by colorimetric analysis and physical and mechanical properties. Colorimetric analysis showed that there was a darkening of the wood toward the increase of treatment time. The treatment was not efficient in reducing swelling, only reducing absorption of water. In mechanical properties, only the modulus of elasticity was significantly affected by the treatment.

**Keywords:** thermo-mechanical treatment; hygroscopicity; mechanical properties; plywood.

## 1 INTRODUÇÃO

A contração e o inchamento da madeira, causados pelo contato desta com a umidade são alguns dos fatores mais problemáticos no que tange à estrutura do produto, o que é inerente a todas as espécies e subprodutos.

A capacidade de a madeira absorver água em contato com a umidade é dado o nome de higroscopicidade, a redução dos seus efeitos é objeto de pesquisas em todo mundo. Um exemplo de tratamento para redução da higroscopicidade é o tratamento térmico que consiste na aplicação de calor a certa temperatura e por determinado tempo. Isso porque o calor, além de provocar a secagem, degrada, permanentemente, parte dos principais compostos higroscópicos da madeira como a celulose amorfa e as hemiceluloses, reduzindo a capacidade de ligação das moléculas de água do ambiente com a madeira (ROWELL; YOUNGS, 1981; BHUIYAN et al., 2000, 2001; DEL MENEZZI, 2004). A região amorfa da celulose e as hemiceluloses são as partes mais higroscópicas da madeira e qualquer tratamento que remova ou atue na indisponibilidade dos grupos hidroxilas da parede celular da madeira será eficiente para redução da sua higroscopicidade (ROWELL; YOUNGS, 1981).

Em contrapartida, o calor altera as propriedades mecânicas da madeira por provocar uma redução de massa. Abaixo de 100°C, esses efeitos são reversíveis. Os efeitos passam a ser irreversíveis ou permanentes com o aumento da temperatura e com a duração do tratamento e estão, principalmente, ligados à degradação da madeira que resulta em perda de massa e resistência. As perdas dependem de fatores como o teor de umidade, o meio de

aquecimento, a temperatura, a duração e, em certas vezes, a espécie e o tamanho da peça envolvida (FPL, 2010).

Para reduzir esses efeitos de perda de massa, a densificação da madeira começou a ser estudada no final da década de 1930, quando surgiu a necessidade de produtos mais resistentes e duráveis durante a Segunda Guerra mundial. Tanto por impregnação de resinas quanto por compressão mecânica, a densificação foi muito estudada durante esse período, auxiliando a criação de novos produtos de madeira modificada (STAMM; CHIDESTER, 1947; FPL, 2010).

A densificação da madeira por compressão mecânica produz resultados melhores se realizada concomitante com o calor. Este atua sobre os polímeros viscoelásticos, como a lignina e as hemiceluloses presentes na parede celular da madeira, ajudando na sua deformação, sem causar fraturas (KUTNAR et al., 2009). Tratamentos desse tipo são chamados de termomecânicos ou de termohidromecânicos, (se o calor for conduzido por meio aquoso) e termohigromecânicos, (se o calor for conduzido por vapor). Os tratamentos termomecânicos diminuem a rugosidade da madeira, aumentam a densidade, reduzem o teor de umidade e o inchamento em espessura assim como melhoram as propriedades mecânicas (BEKHTA; MARUTZKY, 2007; CLOUTIER et al., 2008; WELZBACHER et al., 2008; BEKHTA et al., 2010; CANDAN et al., 2010).

Além disso, tratamentos que envolvem calor podem alterar a cor da madeira devido à liberação de componentes resultantes do processo de hidrólise de carboidratos e extrativos e a sua conseqüente reação com outros componentes. Madeiras tratadas termicamente têm tendência a apresentarem uma coloração amarronzada e, para um tratamento mais prolongado ou com maior temperatura, a tendência é que a cor da madeira fique mais escura (SUNDQVIST, 2004). Para melhorar os resultados do tratamento termomecânico, a combinação entre temperatura e pressão deve ser adequada à utilização final do produto de modo que a higroscopicidade seja reduzida ao mesmo tempo em que se observa a densificação da madeira

A Paricá (*Schizolobium amazonicum*) que foi utilizada neste estudo é uma espécie nativa brasileira com tronco bem formado e reto de rápido crescimento, plantada principalmente nos estados do Pará e Maranhão. A madeira desta espécie é de densidade leve a moderada, de fácil trabalhabilidade e susceptível ao ataque biológico, podendo ser usada, principalmente, para produção de compensados, caixotes, brinquedos, portas e parquetes (CARVALHO, 2007).

O objetivo deste trabalho foi estudar preliminarmente os efeitos da modificação termomecânica de lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de compensados de melhor qualidade em termos de higroscopicidade e propriedades mecânicas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção dos painéis, foram utilizadas lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) obtidas de árvores com aproximadamente cinco anos de idade advindas de plantios homogêneos localizados na cidade de Dom Elizeu, no Estado do Pará. Ao todo, foram utilizadas 24 lâminas de 25 cm x 25 cm, as quais foram armazenadas em câmara climatizada ( $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e  $65\% \pm 1\%$  de umidade). Após 10 dias na climatização, foi feita uma medição do teor de umidade (TU) em cada lâmina e o TU médio obtido foi de 8,57%. Em seguida, mediu-se a densidade aparente de cada lâmina, cuja média obtida foi de  $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$ . Os painéis foram confeccionados com três lâminas, sendo duas com espessura de 2,65 mm (capas) e uma com 1,88 mm (miolo).

Para o tratamento termomecânico, foi usada uma prensa hidráulica de laboratório equipada com dois pratos metálicos aquecidos por resistência elétrica. Foram estabelecidos três tratamentos e uma testemunha cujas lâminas não receberam tratamento (Tabela 1). Em cada tratamento e na testemunha foram usadas 6 lâminas de 25 cm x 25 cm, totalizando dois compensados em cada.

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos termomecânicos nas lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*).

**Table 1.** Experimental design of thermo-mechanical treatment of Paricá (*Schizolobium amazonicum*) veneers.

Tratamento	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tempo (minutos)
Testemunha	--	--
T1	150	5
T2	150	10
T3	150	15

Nos tratamentos, a temperatura foi mantida em  $150^{\circ}\text{C}$  e os tempos variaram entre cinco minutos, 10 minutos e 15 minutos. O primeiro minuto de cada tratamento foi usado para aquecimento da lâmina em contato com os pratos aquecidos, sem aplicação de pressão.



Durante os minutos restantes, uma pressão constante de 1 N.mm<sup>-2</sup> foi aplicada sobre as lâminas.

As lâminas foram distribuídas entre os tratamentos de modo sistemático para que não houvesse diferença significativa de densidade entre as chapas. Os compensados foram colados com o adesivo resorcinol-formaldeído, na gramatura de 360 g.m<sup>-2</sup> e prensados à temperatura ambiente a 1 N.mm<sup>-2</sup>, durante 10 horas. Antes e depois do tratamento, as lâminas tiveram a massa e a espessura medidas. Como uma parte da massa perdida é água, o tratamento foi considerado eficaz naquelas lâminas que tiveram perda de massa (PM) superior ao TU que continham antes de serem tratadas. Assim, foi feita subtração entre PM e TU para obtenção da perda de massa efetiva (PME), em porcentagem.

Para avaliação da mudança de cor, utilizou-se um espectrofotômetro, tomando-se medidas dos parâmetros colorimétricos nos dois lados das lâminas. A varredura foi feita no sentido das fibras, totalizando 30 medições de cada lado. Os parâmetros colorimétricos (L\*, a\*, b\*, C e h\*), definidos no sistema CIELab foram obtidos em um espectrofotômetro Color Eye XTH-X-Rite, iluminante D65 e ângulo de 10° em temperatura ambiente, acoplado a um microcomputador. Utilizando uma tabela de cores sugerida por Camargos e Gonzalez (2001), foi possível caracterizar a cor da madeira de Paricá. Uma nova varredura foi feita após o tratamento para verificar se houve ou não mudança significativa de cor. Em caso de mudança significativa nos parâmetros, foi calculada a variação de cor entre os tratamentos de acordo com a Equação 1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $\Delta E$  = variação de cor entre o tratado e a testemunha.

A estabilidade dimensional dos compensados foi avaliada por meio dos valores de inchamento em espessura em 2 horas (IE2h, %) e 24 horas (IE24h, %). A absorção de água em 2 horas (AB2h, %) e 24 horas (AB24h, %) também foi avaliada para verificar a tendência de absorção de água entre o controle e os compensados tratados. Os ensaios foram feitos de acordo com a norma EN 317 (1993). Após o ensaio de inchamento e absorção, os corpos-de-prova (CPs) foram secos em estufa até alcançarem massa constante e foi então medida a taxa de não retorno em espessura (TNRE, %) que representa o inchamento causado pela liberação das tensões de compressão durante a prensagem dos compensados. Os dados de IE (2h e 24h), AB (2h e 24h) e TNRE foram usados para determinar a eficiência do tratamento térmico em

melhorar a estabilidade dimensional, de acordo com Rowell; Youngs (1981) e Del Menezzi (2004).

Para avaliar a influência do tratamento na qualidade da colagem do compensado, foi realizado ensaio de cisalhamento paralelo à linha de cola ( $f_{gv,0}$ , N.mm<sup>-2</sup>) de acordo com a EN 314-1 (2004) em uma máquina de ensaio universal. Nesse mesmo equipamento foi realizado o ensaio de flexão estática para avaliação da influência do tratamento no módulo de elasticidade ( $E_m$ , N.mm<sup>-2</sup>) e no módulo de ruptura ( $f_m$ , N.mm<sup>-2</sup>), de acordo com a EN 310 (1993). Os CPs no ensaio de flexão foram testados apenas no sentido paralelo às fibras da madeira.

Foi usada a análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. Em caso de diferença significativa foi utilizado teste de Tukey HSD ( $\alpha = 0,05$ ) para identificar o contraste entre as médias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Colorimetria

As médias para os parâmetros colorimétricos encontrados na madeira de Paricá antes e depois do tratamento podem ser observadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Médias dos parâmetros colorimétricos, antes e depois do tratamento.  
**Table 2.** Average of color measurement before and after the treatment.

Tratamento	Parâmetros do CIELab					$\Delta E$
	L	a*	b*	C	h*	
Testemunha	83,80 <sub>A</sub> (1,01)	3,15 <sub>C</sub> (10,84)	20,97 <sub>B</sub> (6,88)	21,20 <sub>B</sub> (6,89)	81,47 <sub>A</sub> (0,80)	----
T1	79,50 <sub>B</sub> (2,95)	4,39 <sub>B</sub> (15,44)	20,99 <sub>B</sub> (11,53)	21,46 <sub>B</sub> (10,82)	78,00 <sub>B</sub> (3,38)	4,57
T2	77,99 <sub>B</sub> (3,12)	4,68 <sub>B</sub> (19,37)	23,54 <sub>A</sub> (12,38)	24,01 <sub>A</sub> (12,14)	78,69 <sub>B</sub> (2,67)	6,94
T3	74,73 <sub>D</sub> (3,26)	5,47 <sub>A</sub> (22,43)	24,86 <sub>A</sub> (12,07)	25,47 <sub>A</sub> (12,24)	77,66 <sub>B</sub> (2,50)	10,52
valor-p <sup>1</sup>	9,12.10 <sup>-27</sup>	5,19.10 <sup>-15</sup>	2,77.10 <sup>-8</sup>	4,84.10 <sup>-9</sup>	3,02.10 <sup>-10</sup>	

L= claridade; a\* e b\*= coordenadas cromáticas; C= saturação; h\*= ângulo de tinta. Coeficiente de variação, em %, entre parênteses. <sup>1</sup>Diferenças significativas a 95% de probabilidade se valor-p < 0,05. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey para  $\alpha = 0,05$ .

De acordo com a tabela de cores de madeira proposta por Camargos; González (2001), a madeira de Paricá é de cor branco-acinzentado. A presença marcante da coordenada b\*

positiva (pigmentação amarela) e a discreta participação da coordenada  $a^*$  positiva (pigmentação vermelha) são as principais responsáveis na formação da cor da madeira dessa espécie. O ângulo de tinta ( $h^*$ ) elevado (81,46) posiciona a cor desta madeira próximo ao eixo  $b^*$  confirmando a grande influência da coordenada  $b^*$  na caracterização da cor.

Verifica-se que a claridade (L) diminui no sentido da testemunha ao tratamento de 15 minutos (T3), indicando que a madeira escurece com o aumento do tempo de tratamento, embora esse escurecimento não tenha sido suficiente para alterar a cor branco-acinzentado. Charrier et al. (2002) comentam que o escurecimento da madeira deve-se à oxidação de algumas substâncias presentes na madeira e que o parâmetro L é o que mais contribui para esse escurecimento. As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  mostram tendências de aumentarem com o aumento do tempo do tratamento térmico, implicando um escurecimento da madeira, o que sugere uma maior interferência da coordenada  $a^*$ .

O ângulo de tinta ( $h^*$ ) diminui da testemunha para o tratamento de 5 minutos, porém o aumento do tempo não influencia o valor de  $h^*$ . A diminuição do valor do ângulo de tinta indica que este se afasta do eixo  $b^*$ , mostrando que a madeira está adquirindo tons mais escuros, evidenciado também pela diminuição da claridade. O parâmetro C, que indica a saturação da cor, aumenta com o tempo do tratamento mostrando que a cor da madeira torna-se mais saturada. Não há diferença estatística entre os valores de saturação da testemunha e do tratamento de 5 minutos, somente percebe-se aumento a partir do tratamento de 10 minutos que também não difere do tratamento de maior duração.

A Tabela 2 mostra ainda essa variação de forma quantitativa, onde a maior diferença de cor ocorre entre a testemunha e o tratamento de 15 minutos. O  $\Delta E$  mostra um escurecimento em todos os tratamentos sendo mais evidente para tempos mais prolongados, confirmando a tendência evidenciada anteriormente. O aumento dos pigmentos vermelhos e, sobretudo os amarelos com o decorrer dos tratamentos sugere um estudo químico mais fino desta espécie com o propósito de identificar os componentes responsáveis pelo escurecimento da madeira.

### **3.2 Propriedades Físicas**

As lâminas que passaram pelos tratamentos térmicos tiveram uma perda de massa (PM) entre 7,64% e 9,36%. Das 18 que foram tratadas, 10 tiveram uma perda de massa efetiva (PME) negativa, ou seja, a PM não foi superior ao TU, indicando que não houve calor suficiente para eliminar a água contida nas amostras. As outras lâminas tiveram uma PME que variou entre 0,18% a 1,56%. Isso significa que nessas amostras a quantidade de calor

aplicada foi suficiente para evaporar a água e degradar mais algum componente da madeira. Dessa forma, como esperado, o tratamento com maior duração (T3, 15 minutos) teve a maior média de PEM, 0,19%, embora este seja um valor muito pequeno. Os outros tratamentos, cinco e 10 minutos (T1 e T2), tiveram médias negativas de PEM, -0,20% e -0,31%, respectivamente, devido ao elevado número de lâminas que não tiveram PM maior que o TU (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias dos tratamentos para as propriedades físicas dos compensados.  
**Table 3.** Average of plywood physical properties.

Tratamento	Propriedades							
	IE2h	IE24h	AB2h	AB24h	TNRE	PM	PEM	RE
-----%-----								
Testemunha	3,14 <sub>A</sub>	4,36 <sub>B</sub>	36,82 <sub>A</sub>	77,35 <sub>A</sub>	0,11 <sub>A</sub>	-	-	-
T1	3,64 <sub>A</sub>	5,14 <sub>AB</sub>	32,23 <sub>A</sub>	76,26 <sub>A</sub>	0,12 <sub>A</sub>	8,86 <sub>A</sub>	-0,20 <sub>A</sub>	7,55 <sub>A</sub>
T2	4,58 <sub>A</sub>	7,08 <sub>A</sub>	33,04 <sub>A</sub>	76,51 <sub>A</sub>	0,71 <sub>A</sub>	9,02 <sub>A</sub>	-0,31 <sub>A</sub>	3,74 <sub>A</sub>
T3	3,70 <sub>A</sub>	4,16 <sub>B</sub>	32,40 <sub>A</sub>	75,04 <sub>A</sub>	1,20 <sub>A</sub>	8,46 <sub>A</sub>	0,19 <sub>A</sub>	4,43 <sub>A</sub>
valor-p <sup>1</sup>	0,11	0,01	0,24	0,94	0,45	0,06	0,73	0,21

IE= Inchamento em espessura (2h e 24h); AB= Absorção de água (2h e 24h); TNRE =Taxa de não retorno em espessura; PM= Perda de massa; PEM= Perda efetiva de massa; RE= Redução em espessura. <sup>1</sup>Diferenças significativas a 95% de probabilidade se valor-p < 0,05. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey para  $\alpha = 0,05$ .

A aplicação da pressão resultou em uma redução em espessura (RE) média por tratamento entre 4,43% e 7,55%. De acordo com a Tabela 3, estatisticamente as médias de RE por tratamento não foram diferentes a 95% de probabilidade, apesar disso, a RE foi mais evidente no tratamento de cinco minutos (7,55%), seguido do de 15 minutos (4,43%) e do de 10 minutos (3,74%). A redução em espessura de lâminas após um tratamento termomecânico também foi observada por Bekhta; Marutzky (2007), cuja redução foi de até 22,9 %.

Os valores de IE2h não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. A testemunha apresentou IE2h médio de 3,14% e os tratamentos variaram entre 3,64% para o de 5 minutos e 4,58% para o de 10 minutos. Ao contrário do que era esperado, não houve uma tendência de redução do inchamento com o aumento do tempo do tratamento. No inchamento, após 24 horas, foi observada diferença estatística entre os valores, porém, da mesma forma que nas duas primeiras horas, não houve redução. Pelo contrário, foi observado um aumento de 4,36% para 7,08% no tratamento de 10 minutos.

As médias para AB2h e AB24h não diferiram estatisticamente, mas ainda assim é possível observar uma pequena tendência de redução dos valores em relação à testemunha. Na AB2h, houve redução de 12% no tratamento de 15 minutos e de apenas 2,98% nesse mesmo tratamento para a AB24h. Um aumento na temperatura ou no tempo do tratamento poderia

causar uma maior redução na absorção de água. Para uma melhora na estabilidade dimensional dos painéis seria necessária uma redução significativa tanto do inchamento em espessura quanto da absorção de água.

Segundo Kelly (1977) e Del Menezzi (2004), a TNRE representa o inchamento definitivo do painel, aquele oriundo da liberação das tensões internas de compressão. Quando o painel entra em contato com a água, ele incha devido ao inchamento próprio da madeira e também pela liberação das tensões de compressão. Juntos determinam o inchamento total do painel. Quando o painel é seco, a madeira contrai retornando em espessura apenas até o ponto referente ao inchamento próprio da madeira. No entanto, a madeira não volta à sua espessura inicial devido à liberação das tensões de compressão. Esse inchamento residual ou definitivo é representado pela TNRE.

Considerando ainda a Tabela 3, nota-se que a TNRE apresentou valores baixos, quase não havendo inchamento definitivo para a testemunha, e para os tratamentos de cinco e 10 minutos. Apesar das diferenças não significativas, o tratamento de 15 minutos apresentou o maior valor para TNRE. Del Menezzi (2004) mostrou que em seu trabalho com OSB tratados termicamente, quanto maior a severidade do tratamento térmico menor é o inchamento definitivo do painel, indicando que o tratamento térmico reduz o nível das tensões de compressão, proporcionando melhoria no inchamento dos painéis. No entanto, isso não foi observado no presente trabalho.

Esse resultado já era esperado, isso porque o tratamento termomecânico comprime as lâminas, que após resfriarem, contêm grande quantidade de tensão de compressão. Dessa forma, quando as lâminas são umedecidas, essa tensão é liberada, e a lâmina tende retornar à espessura original. Esse movimento é conhecido como memória de forma (*shape memory*) e é bastante comum em tratamentos termomecânicos como relatado por Kultikova (1999), Morsing (2000) e Heger et al. (2004). Assim, o tratamento termomecânico aqui proposto pode ter efeito oposto àquele identificado por Del Menezzi; Tomaselli (2006) e Del Menezzi et al. (2009) para a TNRE.

A Tabela 4 mostra, de forma quantitativa, a eficiência do tratamento térmico sobre as propriedades de estabilidade dimensional. Os valores positivos indicam um efeito benéfico do tratamento sobre a propriedade e valores negativos indicam o contrário.

**Tabela 4.** Eficiência do tratamento sobre a estabilidade dimensional dos compensados.

**Table 4.** Treatment efficiency of plywood dimensional stability.

Tratamentos	Eficiência				TNRE
	IE2h	IE24h	AB2h	AB24h	

	-----%-----				
T1	-16,07	-17,92	12,46	1,41	-12,48
T2	-45,95	-62,38	10,27	1,09	-576,24
T3	-18,13	4,57	12,01	2,98	-1038,36
Média	-26,72	-25,24	11,58	1,83	-542,36

IE= Inchamento em espessura (2h e 24h); AB= Absorção de água (2h e 24h); TNRE= Taxa de não retorno em espessura. Valores positivos indicam efeito benéfico.

Pode-se observar que nenhum tratamento apresentou efeito positivo sobre o IE2h e a TNRE. Para o inchamento, o único tratamento que apresentou efeito positivo foi o de 15 minutos no IE24h, no entanto, essa eficiência foi baixa (4,57%). Nos ensaios de absorção, todos os tratamentos mostraram efeito positivo, com destaque para a AB2h que teve a maior média (11,58%). Del Menezzi (2004), tratando painéis OSB termicamente, observou que todos os tratamentos apresentaram efeito positivo sobre as propriedades de estabilidade dimensional, significando uma melhoria de mais de 30% em relação à amostra não tratada.

### 3.3 Propriedades Mecânicas

Com exceção do  $E_m$ , obtido no ensaio de flexão estática, as outras propriedades mecânicas testadas não apresentaram variação dentro dos tratamentos, como mostra a Tabela 5. O maior valor do  $E_m$  foi encontrado no tratamento de 5 minutos (747,43 N.mm<sup>-2</sup>) e o menor valor foi obtido no tratamento de 15 minutos (620,59 N.mm<sup>-2</sup>), o que representou uma redução de 6,7% em relação a testemunha. A densificação do material, causada pela compressão mecânica e facilitada pela temperatura, foi o que contribuiu para o aumento da rigidez do compensado nesse tratamento de 5 minutos. Essa densificação é representada pela RE que indica a redução dos espaços vazios, aumentando a proporção de massa em relação ao volume.

Por outro lado, a redução do  $E_m$  pode ser atribuída a degradação térmica dos polímeros e a perda de massa da madeira, que são comuns em tratamentos térmicos. Embora o  $E_m$  tenha sido reduzido, a resistência à flexão estática ( $f_M$ ) não foi afetada significativamente pelo tratamento. Hillis et al. (1984) e Yildiz et al. (2006) comentam que utilizando apenas tratamentos térmicos, sem influência da compressão, o módulo de ruptura é geralmente mais afetado que o módulo de elasticidade. No entanto, provavelmente em decorrência do uso da pressão juntamente com calor, o  $f_M$  não foi afetado significativamente. Dessa forma, o tratamento com o tempo de 5 minutos foi até vantajoso para a flexão estática do compensado, pois deixou o material mais resistente à deformação elástica sem diminuir a carga de ruptura.

**Tabela 5.** Médias dos tratamentos para as propriedades mecânicas dos compensados.  
**Table 5.** Average of plywood mechanical properties.

Tratamentos	Propriedades mecânicas			
	$f_M$	$E_m$	$f_{gv,0}$	FM
	-----N.mm <sup>-2</sup> -----			-----%-----
Testemunha	63,99 <sub>A</sub>	665,18 <sub>AB</sub>	17,5 <sub>A</sub>	84
T1	64,05 <sub>A</sub>	747,43 <sub>A</sub>	17,2 <sub>A</sub>	87
T2	61,24 <sub>A</sub>	672,48 <sub>AB</sub>	18,2 <sub>A</sub>	94
T3	57,93 <sub>A</sub>	620,59 <sub>B</sub>	14,6 <sub>A</sub>	68
Valor-p <sup>1</sup>	0,57	0,03	0,37	0,30

$f_M$ = Módulo de ruptura;  $E_m$ = Módulo de elasticidade;  $f_{gv,0}$ = Resistência ao cisalhamento na linha de cola; FM= Falha na madeira. <sup>1</sup>Diferenças significativas a 95% de probabilidade se valor-p < 0,05. Letras iguais indicam não diferença significativa a 95% de probabilidade.

A resistência ao cisalhamento paralelo na linha de cola manteve-se praticamente constante até o tratamento de 10 minutos e caiu bruscamente no de 15 minutos (Tabela 5). A resistência caiu 16,70% no tratamento de 15 minutos em relação à testemunha. Grzeskiewicz et al. (2009) observaram uma queda de até 84,21% na resistência ao cisalhamento na linha de cola no tratamento mais severo, 220°C por duas horas.

Ainda na Tabela 5 são apresentados os valores médios de porcentagem de falha na madeira (FM) por tratamento e este segue a mesma tendência dos valores de resistência ao cisalhamento da linha de cola. Como os compensados foram colados com uma cola estrutural altamente resistente, resorcinol-formaldeído, a maior parte das amostras tiveram rompimento na madeira (100% de falha na madeira) indicando que a resistência da linha de cola é superior à resistência da madeira. Dessa forma, quanto maior a porcentagem de FM melhor a qualidade da colagem.

A superfície da madeira em contato com o calor tem sua aspereza reduzida em função da degradação térmica, criando uma camada de inativação que dificulta a adesão entre os substratos (CHRISTIANSEN, 1997; KAMDEM et al., 2002). Como as lâminas nesse trabalho não foram lixadas após o tratamento térmico, pode ter acontecido, principalmente no tratamento de 15 minutos, uma inativação da superfície que prejudicou a adesão, reduzindo, portanto, a eficiência de colagem.

#### 4 CONCLUSÕES

As lâminas de Paricá são de cor branco-acinzentado e com o tratamento térmico, observou-se um pequeno escurecimento das lâminas, mas que não foi suficiente para ocorrer mudança na cor.

Os tratamentos termomecânicos sugeridos não foram eficientes em melhorar o inchamento dos compensados de Paricá, embora tenham proporcionado uma pequena eficiência na redução da absorção de água. Também não foram observados valores significativos de perda de massa efetiva, indicando que os tratamentos não contribuíram para a degradação de compostos higroscópicos da madeira. A compressão mecânica causou um efeito negativo na TNRE devido ao *shape memory*, efeito comum relatado em trabalhos semelhantes.

Em relação às propriedades mecânicas, o tratamento termomecânico aumentou o módulo de elasticidade no tratamento com tempo de 5 minutos. O módulo de ruptura não foi significativamente afetado, assim como o cisalhamento na linha de cola.

Recomendam-se outros estudos com tratamentos termomecânicos que avaliem a influência da pressão na densificação, tempo de prensagem e quantidade de cola do compensado e do efeito do calor sobre a rugosidade das lâminas.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Rio Concren Industrial Ltda pela doação das lâminas utilizada no presente estudo.

## 6 REFERÊNCIAS

BEKHTA, P.; MARUTZKY, R. Reduction of Glue Consumption in the Plywood Production by Using Previously Compressed Veneer. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 65, n. 1, p. 87-88, 2007.

BEKHTA, P.; NIEMZ, P.; SEDLIACIK, J. Effect of Pre-Pressing of Veneer on the Glueability and Properties of Veneer-Based Products. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. Online First. (DOI: 10.1007/s00107-010-0486-y), 2010.

BHUIYAN, M. T. R; HIRAI, N.; SOBUE, N. Effect of Intermittent Heat Treatment on Crystallinity in Wood Cellulose. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 47, n. 5, p. 336-416, 2001.

BHUIYAN, M. T. R; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of Crystallinity in Wood Cellulose by Heat Treatment Under Dried and Moist Conditions. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 46, n. 6, p. 431-436, 2000.



CAMARGOS, J. A.; GONÇALEZ, J. C. A Colorimetria Aplicada como Instrumento na Elaboração de uma Tabela de Cores de Madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 71, p. 30-41, 2001.

CANDAN, Z.; HIZIROGLU, S.; MCDONALD, A. G. Surface Quality of Thermally Compressed Douglas fir Veneer. **Materials and Design**, v. 31, n. 7, p. 3574-3577, 2010.  
CARVALHO, P. E. R. **Paricá** *Schizolobium amazonicum*. Circular Técnica 142, Colombo, Paraná. EMBRAPA Florestas, 2007. 8p.

CHARRIER, B.; CHARRIER, F.; JANIN, G.; KAMDEM, D. P.; IRMOULI, M.; GONÇALEZ, J. C. Study of Industrial Boiling Process on Walnut Colour: Experimental Study under Industrial Conditions. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 60, n. 4, p. 259-264, 2002.

CHRISTIANSEN, A. W. Effect of Overdrying on Toughness of Yellow-popular Veneer. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 55, n. 2-4, p. 71-75, 1997.

CLOUTIER, A.; FANG, C.; MARIOTTI, N. Densification of Wood Veneers Under the Effect of Heat, Steam and Pressure. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 51., 2008, Concepcion, Chile. **Anais...** Chile: Universidad del Bío-Bío, 2008.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização Dimensional por Meio do Tratamento Térmico e Seus Efeitos Sobre as Propriedades de Painéis de Partículas Orientadas (OSB)**. 2004. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I. Contact Thermal Post-Treatment of Oriented Strandboard to Improve Dimensional Stability: A preliminary Study. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 64, p. 212-217, 2006.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SANTANA, M. A. E. Thermal Modification of Consolidated Oriented Strandboards: Effects on Dimensional Stability, Mechanical Properties, Chemical Composition and Surface Color. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg v. 67, n. 4, p. 383-396, 2009.

EUROPEAN STANDARD. **BS EN 310**: Wood-based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Brussels, 1993.

EUROPEAN STANDARD. **BS EN 317**: Particleboards and fiberboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. Brussels, 1993.

EUROPEAN STANDARD. **BS EN 314-1**: Plywood – Bonding Quality. Part 1: Test Methods. Brussels, 2004.

FPL - FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 508p. 2010. (General Technical Report FPL-190).

- GRZESKIEWICZ, M.; BORYSIUK, P.; JASKÓŁOWSKI, W. Physical and Mechanical Properties and Burning Behavior of Beech Plywood Made of Thermally Modified Veneers. In: INTERNATIONAL PANEL PRODUCTS SYMPOSIUM, 13., Nantes, France. **Proceedings...** Nantes: IPPS, 2009. p. 1-36.
- HEGER, F.; GROUX, M.; GIRARDET, F.; WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O.; NAVI, P. Mechanical and Durability Performance of THM Densified Wood In: WORKSHOP COST ACTION E22 'ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION OF WOOD PROTECTION. Lisboa, Portugal. **Proceedings...** Lisboa, 2004. p. 1-26.
- KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of Heat-Treated Wood. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 60, n. 1, p. 1-6, 2002.
- KELLY, M. W. **Critical Literature Review of Relationships Between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboard**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 65p.
- KULTIKOVA, E. **Structure and Properties Relationships of Densified Wood**. 1999. 133f. Master Thesis (Master of Science in Wood Science and Forest Products) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, 1999.
- KUTNAR, A.; KAMKE, F. A.; SERNEK, M. Density Profile and Morphology of Viscoelastic Thermal Compressed Wood. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 43, n. 1-2, p. 57-68, 2009.
- MORSING, N. **Densification of Wood the Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain**. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark, 2000. p.1-145.
- ROWELL, R. M.; YOUNGS, R. L. **Dimensional Stabilization of Wood in Use**. Gen. Tech. Rep. FPL-0243. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1981. 8p.
- STAMM, A. J.; CHIDESTER. **Yearbook of Agriculture 1943-1947**. U.S. Department of Agriculture, 1947.
- SUNDQVIST, B. **Colour Changes and Acid Formation in Wood During Heating**. 2004. 154f. Thesis (Doctoral) – Lulea University of Technology, Skelleftea, Sweden, 2004.
- WELZBACHER, C. R.; WEHSENER, J.; RAPP, A. O.; HALLER, P. Thermo-Mechanical Densification Combined with Thermal Modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in Industrial Scale - Dimensional Stability and Durability Aspects. **Holz Roh Werkst**, v. 66, p. 39-49, 2008.